

**ISTANZA DI LICENZA DI ESPLORAZIONE  
PER LO STOCCAGGIO GEOLOGICO  
DI BIOSSIDO DI CARBONIO  
DENOMINATA  
“SIBILLA”**

**STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE**

**Relazione Tecnica Geologica**

**APPENDICE 1**

I

 Independent Gas Management srl	Studio di Impatto Ambientale	Luglio 2012
IGM_01_A_00_R_RTP_02_00	Ed.1	Rev. 0
		Pagina I di 87



ISTANZA DI LICENZA DI ESPLORAZIONE  
PER LO STOCCAGGIO GEOLOGICO DI BISSIDO DI CARBONIO  
DENOMINATA

“SIBILLA”

**APPENDICE 1**  
**alla**  
**Relazione Tecnica e Geologica**

**Interpretazione di una sezione sismica  
a riflessione mediante la ricostruzione  
della stratigrafia in tempi  
(Cornelia-1)**

## INTERPRETAZIONE DI UNA SEZIONE SISMICA A RIFLESSIONE MEDIANTE LA RICOSTRUZIONE DELLA STRATIGRAFIA IN TEMPI

( CORNELIA 1 )

Nota dei Soci G. GUAZZONE (\*\*), A. MAZZOTTI (\*) e di D. BILGERI (\*)

### RIASSUNTO

Le tecniche di acquisizione ed elaborazione dei dati sismici costituiscono strumenti indispensabili per l'odierna ricerca degli idrocarburi. La crescente complessità delle situazioni geologiche investigate, e lo sforzo per l'individuazione di trappole di idrocarburi sempre di maggior dettaglio, richiedono una sempre maggiore collaborazione fra esperti di discipline «geofisiche» e «geologiche».

A tal proposito particolare importanza riveste l'interpretazione in senso geologico e minerario delle sezioni sismiche.

Nel presente lavoro viene fornita un'interpretazione geologica di una sezione sismica a riflessione relativa ad una struttura non affiorante appartenente alla fascia più esterna del corrugamento appenninico dell'area centrale.

Dai dati lito-formazionali forniti da un pozzo esplorativo si sono ricostruiti gli andamenti dei singoli intervalli formazionali e di una superficie di faglia sul piano della sezione sismica. È stato perciò necessario convertire le profondità dei vari passaggi lito-formazionali, in tempi doppi di percorso, congruenti con la sezione sismica.

I risultati sono sintetizzati in una sezione «sismo-geologica» intendendo con questo termine indicare una rappresentazione geologica ricostruita su sezioni sismiche con scala verticale in tempi e verificata per quanto riguarda le unità litologiche e i relativi spessori.

### ABSTRACT

Seismic acquisition and data processing techniques represent essential tools in today's activity of hydrocarbon exploration.

The growing complexity of the geological settings investigated, and the effort to find out hydrocarbon

traps of greater and greater detail, require a deeper and deeper collaboration between experts in "geophysical" and "geological" sciences.

This paper deals with a geological interpretation of a seismic reflection section pertaining to a deep structure of the outer belt of Apenninic folding, in the central part of Italy.

The trend of each formation and of a fault surface, on the plane of the seismic section, have been reconstructed using litho-formational data supplied by a well of which it has been necessary to convert depths of the litho-formational layers, into seismic two way times.

The results is a "sismo-geological" section, which is a geological section superimposed on a seismic section with two way times in the vertical scale and with recognised thicknesses and lithological units.

TERMINI CHIAVE: *Sezione sismo-geologica, sezione sismica stack, migrazione, sonic log.*

### INTRODUZIONE

L'oggetto dello studio è una struttura costituita da una piega fagliata con faglia inversa situata nel margine orientale dei piegamenti, all'altezza della zona marchigiana (fig. 1).

Nel presente lavoro è stata utilizzata una sezione sismica a riflessione migrata nel dominio delle frequenze e i dati della misura di velocità e le informazioni litologico-formazionali fornite da un sondaggio esplorativo sul culmine della struttura.

### NOTE SULLA GEOLOGIA DELLA ZONA

La parte orientale dell'area marchigiana è caratterizzata dall'affioramento di formazioni plioceniche e quaternarie poco dislocate, ad eccezione del Conero dove si ha l'affioramento di formazioni mesozoiche.

(\*) AGIP S.p.A. - Servizi per l'Esplorazione - P.O. Box 12069 - 20120 Milano.

(\*\*) Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, Via La Pira, 4.

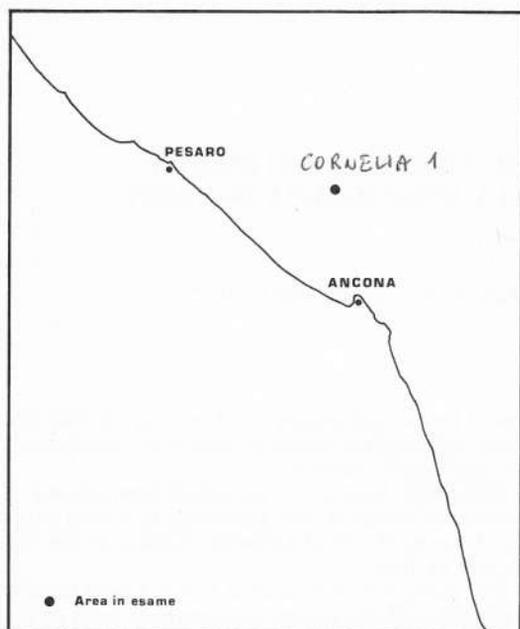


Fig. 1 - Carta di posizione.

Dati geologici regionali, rilievi sismici, e correlazioni fra i pozzi perforati evidenziano l'esistenza di strutture piegate ed accavallate con vergenza ad est e limitate da faglie inverse; l'età di questi piegamenti raggiunge, nelle fasce più orientali, il Pliocene medio-inferiore.

Le formazioni della fascia adriatica più interna appartengono alla ben nota serie stratigrafica marchigiana (FANCELLI & RADRIZZANI, 1964; LIPPARINI, 1969; CRESCENTI *et al.*, 1969; CARLONI *et al.*, 1971; CENTAMORE *et al.*, 1971; CRESCENTI *et al.*, 1974; CENTAMORE *et al.*, 1978).

Nella struttura in esame, situata nella fascia «offshore» più esterna dei corrugamenti, si trovano invece, al di sotto della scaglia, formazioni di facies differenti, simili a quelle del Gargano; in particolare anche qui si rileva uno sviluppo notevole delle dolomie del Giurassico superiore (fig. 2) (DI SCALA & INNOCENTI, 1979).

Particolarmente importante ai fini dell'interpretazione geologica delle sezioni sismiche è l'orizzonte delle evaporiti messiniane, in quanto, data la sua continuità e l'elevato coefficiente

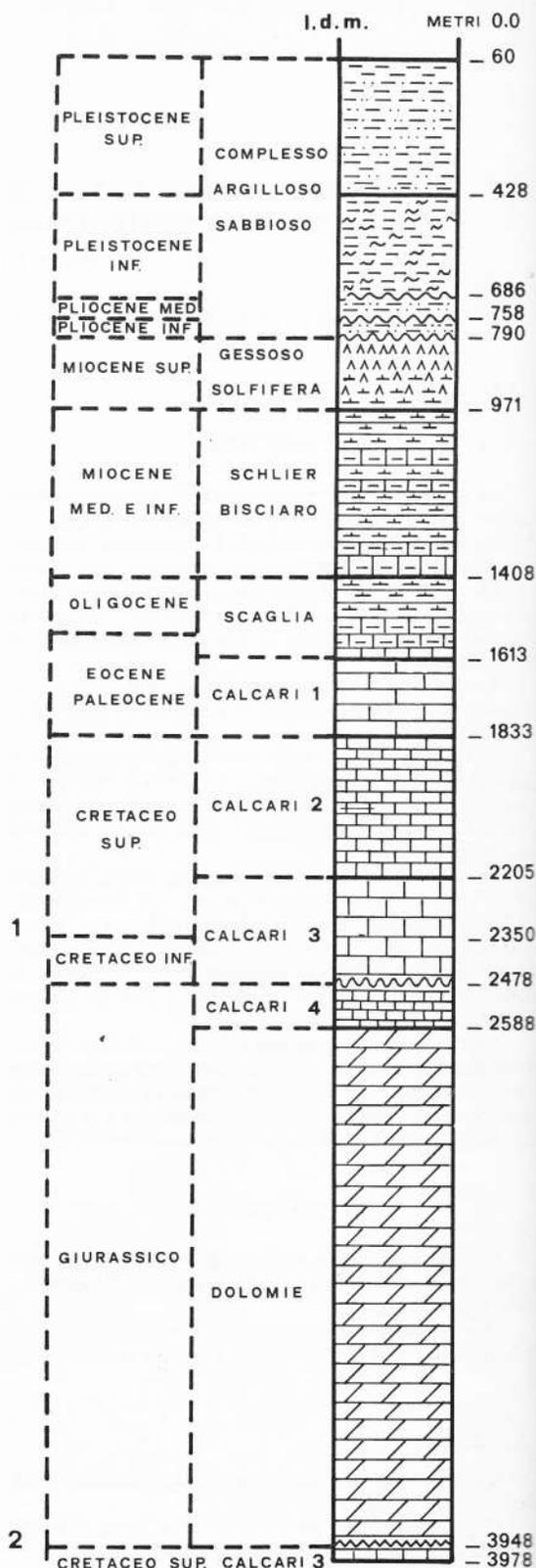


Fig. 2 - Serie stratigrafica del pozzo esplorativo.

te di riflessione, rappresenta un facile riflettore da seguire.

L'insieme dei dati geologici e sismici suggerisce l'esistenza di superfici di scollamento associate a fenomeni di sovrascorrimento in corrispondenza delle formazioni Burano (Triassico superiore) e Bisciario-Schlier (Miocene medio-inferiore).

#### IDENTIFICAZIONE STRUTTURALE

La fig. 3 mostra una sezione sismica in copertura 24<sup>a</sup> orientata in direzione NE-SW, perpendicolarmente al piano assiale della struttura.

La fig. 3 illustra una sezione sismica chiamata «stack» cioè in cui ogni traccia è somma di più tracce (24 nel caso) che si riflettono dallo stesso punto in profondità ed equivale a quella informazione sismica che potrebbe essere registrata nel caso teorico di sorgente e ricevitore coincidenti.

Questo elaborato è un passaggio obbligato nella attuale elaborazione dei dati sismici a riflessione e fornisce inoltre sia la distribuzione delle velocità di propagazione che l'assetto geologico di prima indagine della sezione geologica verticale del terreno.

Le riflessioni al tempo T di una sezione tempi stack possono però provenire da riflettori disposti ovunque nella sezione profondità, cioè lungo una circonferenza di raggio  $VT/2$  in un mezzo a velocità uniforme V. È pertanto necessario in zone a geologia complessa con variazioni strutturali ma anche con variazioni laterali di velocità elaborare i dati sismici in versione stack col programma di migrazione.

Migrazione è l'elaborazione di una sezione sismica tempi che colloca nella esatta posizione spaziale, sia verticale che orizzontale, gli eventi riflessi e in generale diffratti.

La fig. 4 mostra il risultato della «migrazione» che focalizza l'energia sismica nella corretta posizione di origine facendo apparire chiaramente la struttura geologica. Il metodo di migrazione F-K, qui applicato, è quello più accurato oggi disponibile.

Questo metodo è stato descritto da BOLONDI, SAVELLI & ROCCA (1978) come una operazione di convoluzione bidimensionale, nel piano x-T, di una sezione stack (fig. 3) con un operatore iperbolico funzione della profondità e della velocità dell'orizzonte da migrare.

Nel dominio delle frequenze, sia temporali che spaziali, l'operazione diviene un semplice prodotto tra lo spettro della sezione e lo spettro dell'operatore e nel dominio cosiddetto F-K è

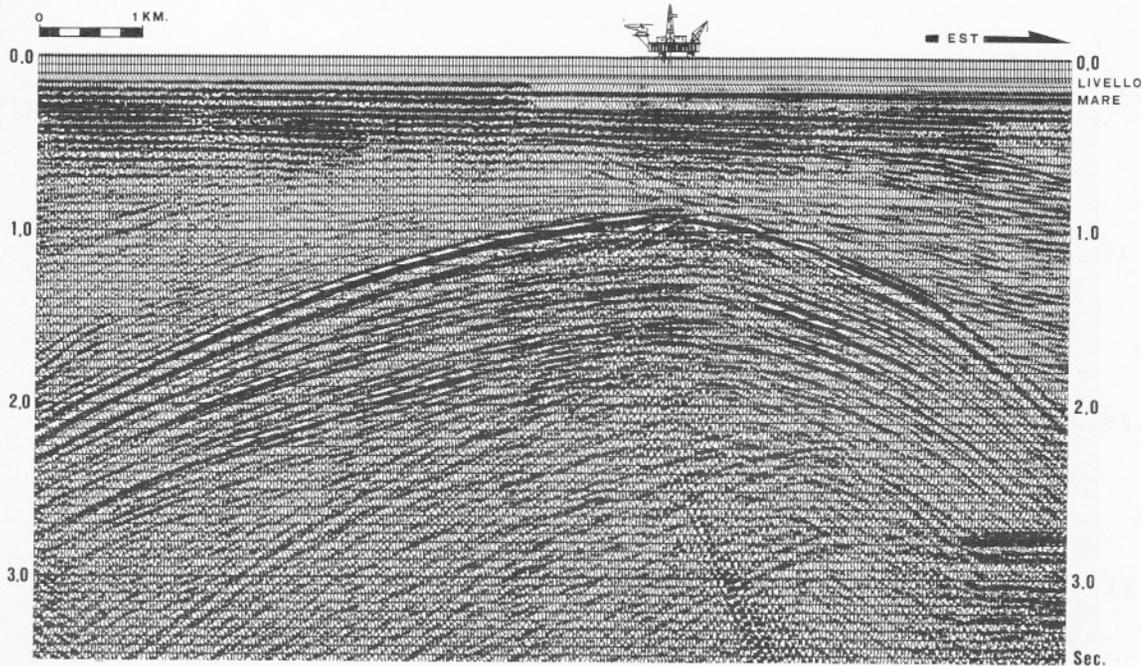


Fig. 3 - Sezione stack.

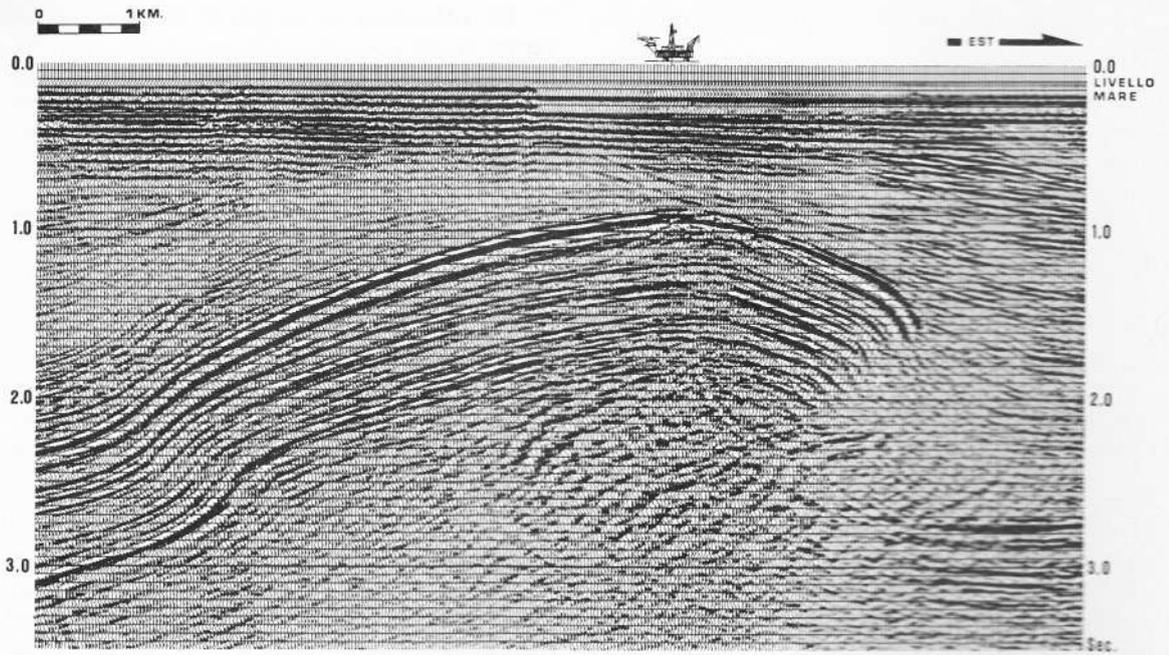


Fig. 4 - Sezione stack, migrata F-K (frequenza - numero d'onda).

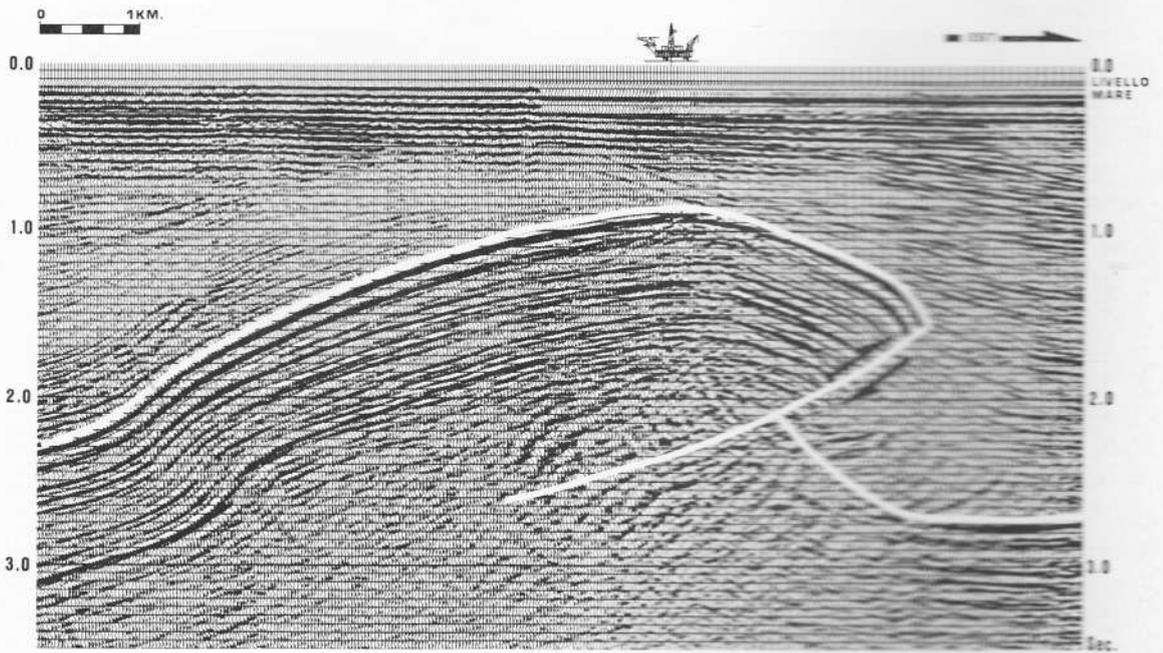


Fig. 5 - Interpretazione 1.

possibile sintetizzare l'operatore con maggiore precisione.

Il controllo della esattezza della operazione di migrazione è legata a 3 importanti parametri: velocità sismiche, intervallo tra le tracce, pacchetto di armoniche presenti nel segnale.

La ottimizzazione di questi parametri è determinante per attenuare il rumore indotto dalla operazione di migrazione e dovuto all'intervallo tra le tracce, più grande del desiderabile (SALVADOR, 1982), al fine di ricostruire le esatte pendenze degli orizzonti geologici.

Nonostante la buona qualità della sezione, migrata F-K, è possibile fornire due interpretazioni della struttura rappresentata:

1) la struttura è costituita da una piega delimitata da una faglia inversa nel lato orientale (fig. 5);

2) la struttura è costituita da una piega rovesciata con polarità orientale (fig. 6).

Alcune considerazioni geologiche della zona ci dimostrano che l'interpretazione più attendibile è quella di piega faglia.

I dati geologici regionali di sottosuolo non hanno mai mostrato l'esistenza di pieghe rovesciate sul fronte più esterno dei sovrascorimenti (DI SCALA & INNOCENTI, 1979) e, soprattutto, la serie stratigrafica riscontrata dal pozzo

esplorativo, in culmine della struttura, è compatibile solo con l'esistenza di una faglia inversa (fig. 2). Infatti, se il pozzo avesse attraversato una serie rovesciata, al di sotto delle dolomie giurassiche si sarebbe dovuto trovare la serie ripetuta dei calcari 4, sopra i Calcari 3.

Poiché, invece, sotto le dolomie sono stati raggiunti solo i Calcari 3, viene esclusa l'esistenza di una piega rovesciata.

#### IDENTIFICAZIONE FORMAZIONALE DEI LIVELLI SISMICI, NOTA LA STRATIGRAFIA DI POZZO

Al fine di ottenere la identificazione lito-formazionale dei livelli sismici messi a fuoco nella versione stack-tempi migrati di fig. 5 è possibile correlare le riflessioni sismiche a orizzonti geologici utilizzando i dati del pozzo esplorativo.

È cioè necessario trasformare le informazioni espresse in metri (profondità degli intervalli attraversati dal sondaggio), in dati espressi in millisecondi (tempi doppi di percorso). Come illustrato in fig. 7, questa conversione da profondità a tempi comporta una elaborazione dei dati di pozzo, ed in particolare del sonic log e della misura di velocità.

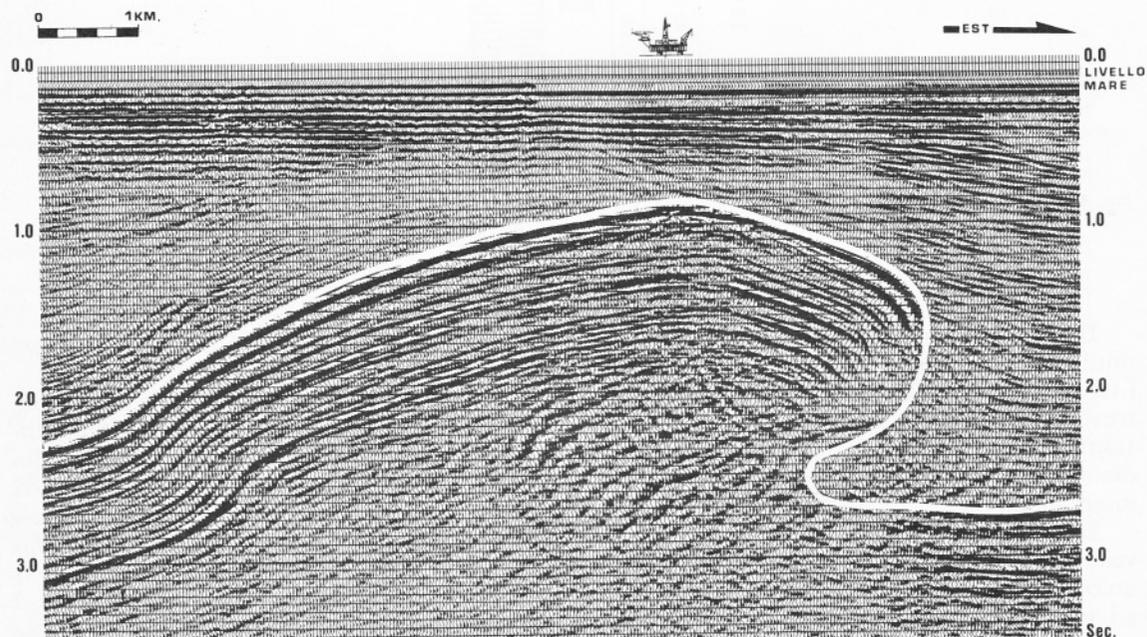


Fig. 6 - Interpretazione 2.

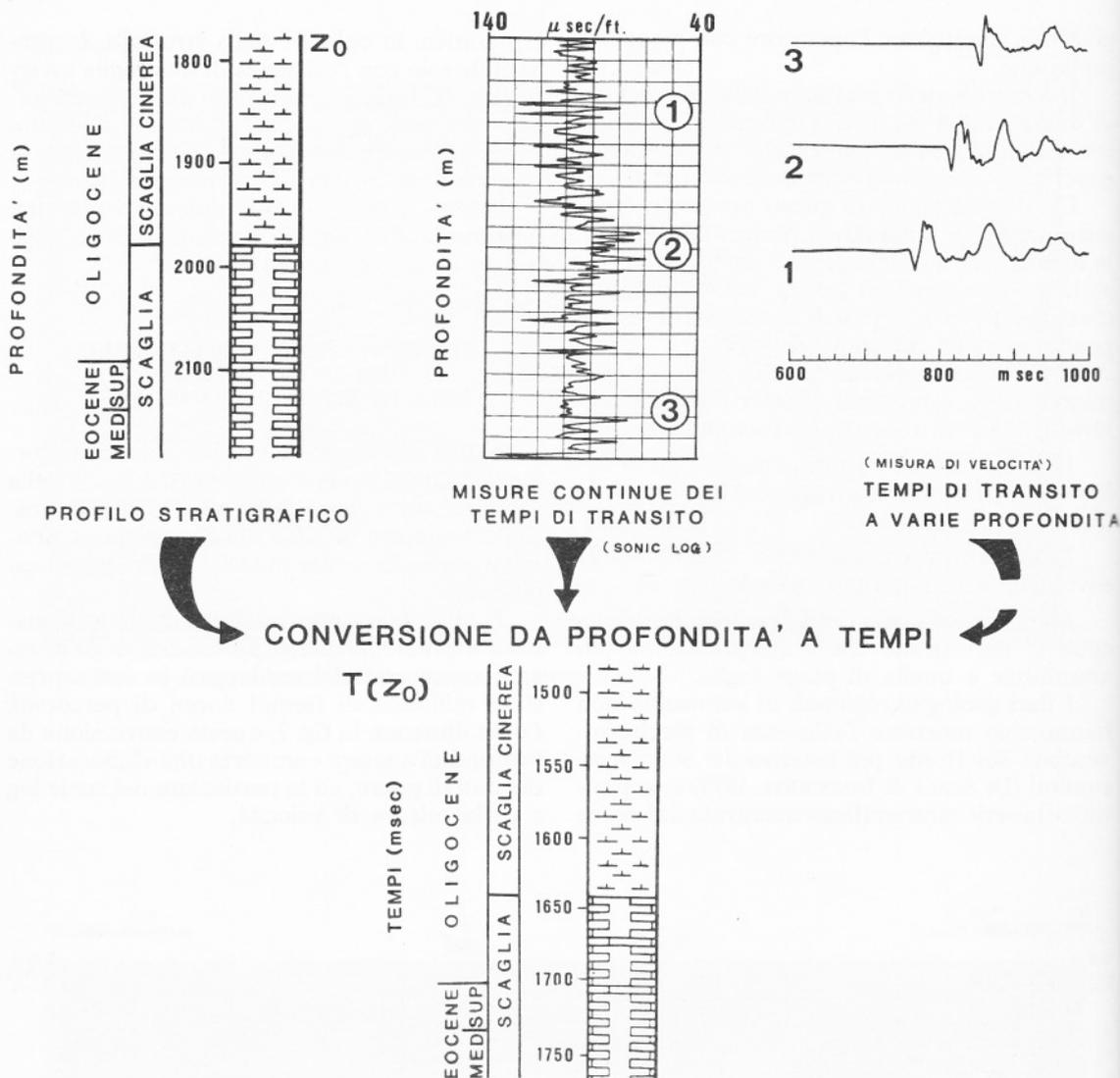


Fig. 7 - Conversione profondità-tempi.

Il sonic log è una misura, effettuata in continuità lungo il pozzo, in cui vengono registrati i tempi di transito di un'onda acustica che attraversa livelli di roccia di piccolo spessore costante e predeterminato. Tali dati sono immediatamente convertibili in valori di velocità di intervallo.

La misura di velocità in pozzo consiste invece nel registrare il tempo di percorso di un'onda sismica propagantesi dalla superficie ad un ricevitore che viene progressivamente calato all'interno del pozzo. Si ottengono così

informazioni sui valori di velocità media in corrispondenza dei punti esaminati.

I dati litologici integrati dal sonic log di pozzo e calibrati con le coppie tempo-profondità della misura di velocità in pozzo vengono, nella pratica, associati alla colonnina litostratigrafica in scala tempi al fine di meglio identificare, sulla sezione sismica e in corrispondenza del sondaggio, le singole formazioni.

Attraverso semplici interpolazioni lineari, i valori di velocità intervallo e tempi doppi ricavati dal sonic log e relativi ad intervalli discreti,

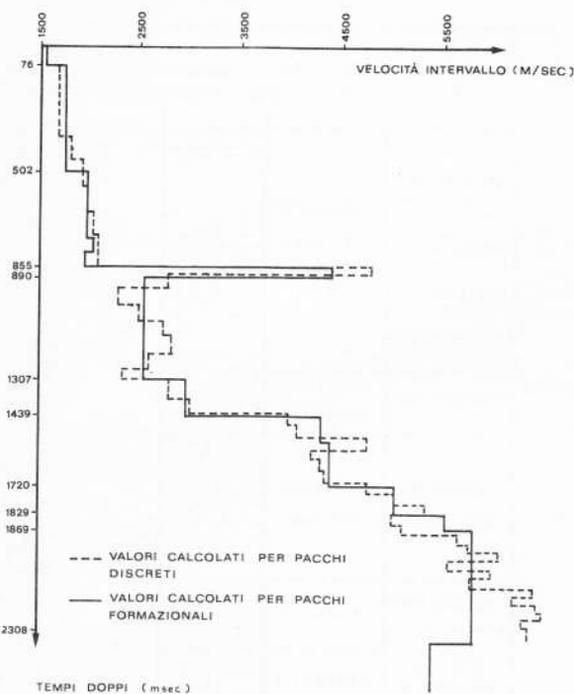


Fig. 8 - Grafico delle velocità di intervallo.

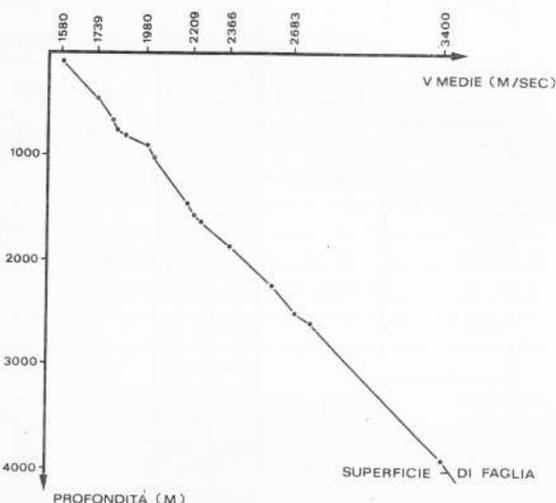


Fig. 9 - Grafico Velocità media - Profondità.

sono stati riportati in valori di velocità intervallo e tempi doppi relativi ai pacchi formazionali di interesse (fig. 8).

Questo metodo applicato ai dati in esame ha consentito di stabilire i tempi relativi ai contatti:

- Pleistocene sup. - Pleistocene inf.:  $2T = 492$  msec.
- Pleistocene inf. - Pliocene medio:  $2T = 751$  msec.
- Pliocene medio - Pliocene inf.:  $2T = 802$  msec.
- Pliocene inf. - Gessoso Solifera:  $2T = 855$  msec.
- Gessoso Solifera - Bisciario Schlier:  $2T = 963$  msec.
- Bisciario Schlier - Scaglia:  $2T = 1307$  msec.
- Scaglia - Calcari 1:  $2T = 1446$  msec.
- Calcari 1 - Calcari 2:  $2T = 1549$  msec.
- Calcari 2 - Calcari 3:  $2T = 1720$  msec.
- Calcari 3 - Calcari 4:  $2T = 1829$  msec.
- Calcari 4 - Dolomie:  $2T = 1869$  msec.

Mancando inoltre i dati di velocità relativi agli ultimi metri di sondaggio e quindi alla superficie di faglia, si è costruito il grafico velocità medie-profondità (fig. 9) ed estrapolando graficamente la curva fino al contatto tettonico si è ottenuta una velocità media di 3400 m/sec e un tempo doppio di 2330 msec.

Il sondaggio ha poi riscontrato una ripetizione di serie, attraversando per 30 metri i Calcari 3 ripetuti, e assumendo per quest'ultimi una velocità d'intervallo di 5350 m/sec pari a una media dei valori più alti fra quelli riscontrati nei Calcari 3 si può stimare e con le limitazioni prima accennate, in 2340 msec il tempo

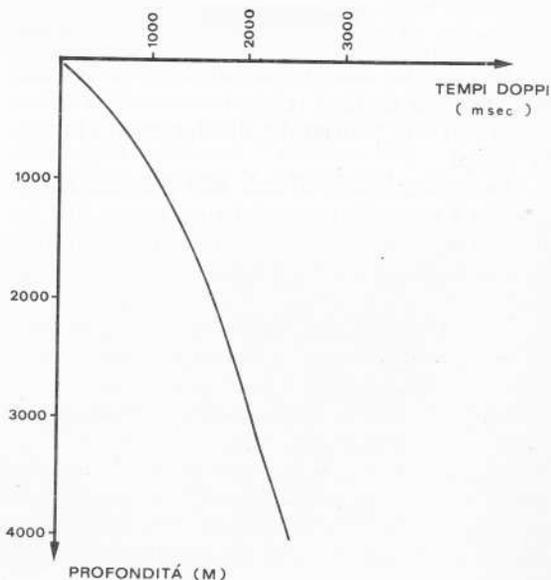


Fig. 10 - Grafico Tempi - Profondità.

doppio corrispondente alla profondità di fondo pozzo.

Sono così noti tutti i tempi corrispondenti ai livelli di nostro interesse, compresi la superficie di faglia e il fondo pozzo (fig. 10).

Confrontando la colonna stratigrafica in scala tempi (fig. 11) con la sezione sismica si è constatata una buona corrispondenza tra i principali passaggi lito-formazionali caratterizzati da elevato contrasto di impedenza acustica e gli orizzonti sismici (vedere, ad esempio, i contatti Complesso Argilloso Sabbioso - Gessoso Solfifera a 855 msec.; Bisciario - Scaglia a 1307 msec. etc.).

L'identificazione dei livelli, eseguita in corrispondenza del pozzo, è stata estesa lateralmente a tutta la sezione sismica, ricavandone il risultato di fig. 12 in cui risulta confermata l'ipotesi di piega fagliata.

In fig. 13 viene fornita la rappresentazione della stessa sezione sismica secondo le velocità di intervallo. Una sezione di pseudo velocità intervallare viene ottenuta dalla sezione sismica convenzionale mediante l'applicazione di un algoritmo recursivo che considera ogni campione della traccia sismica come valore di un coefficiente di riflessione (LAVERGNE & WILLM, 1975).

Si noti come lo spettro di velocità ottenuto aderisca ottimamente alla stratigrafia riscontrata.

### CONCLUSIONI

La corretta ricostruzione geologica di qualsiasi sezione sismica rende necessaria la conoscenza di una stratigrafia di riferimento in scala tempi.

La realizzazione di una tale colonna stratigrafica è generalmente ottenuta grazie alle informazioni fornite da un pozzo esplorativo procedendo ad una accurata elaborazione dei dati.

Le sezioni sismiche stack sono in scala tempi e il panorama geologico strutturale in esse delineato può essere anche notevolmente diverso dalla realtà ed è pertanto necessaria una attenta elaborazione di migrazione degli eventi sismici a riflessione. Tuttavia anche la sezione stack-tempi migrati è una entità geofisica e possono esistere delle residue discrepanze tra essa e la sezione geologica. L'ottenimento della sezione profondità è legato principalmente alla valutazione delle velocità di propagazione che

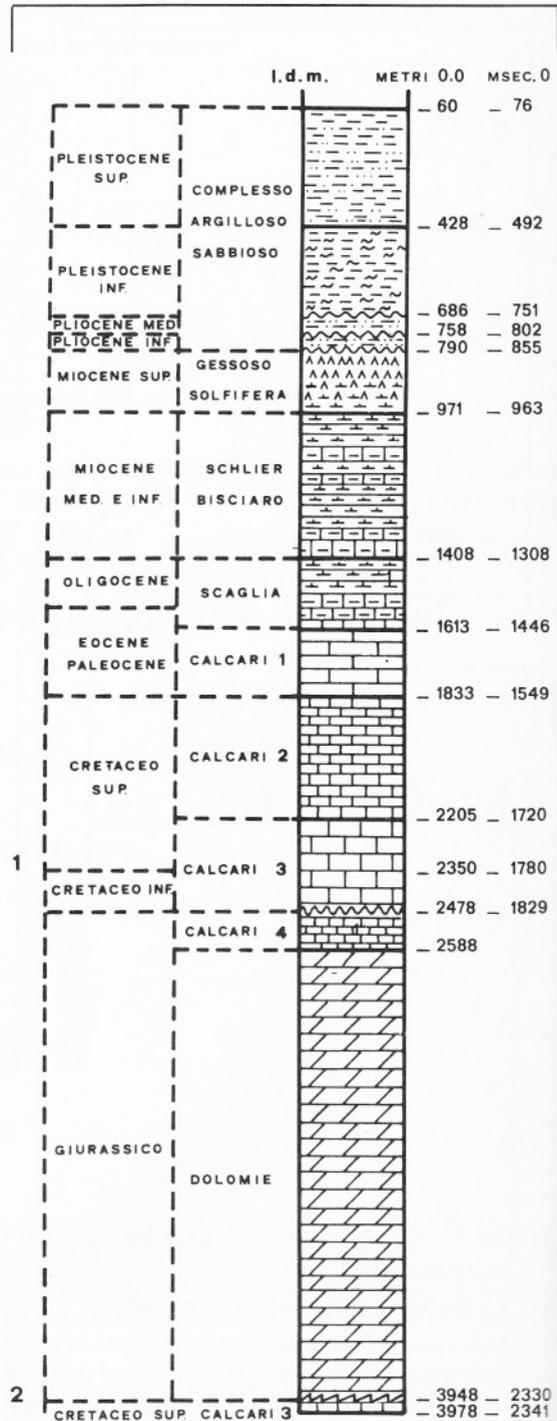


Fig. 11 - Serie stratigrafica in tempi del pozzo esplorativo.

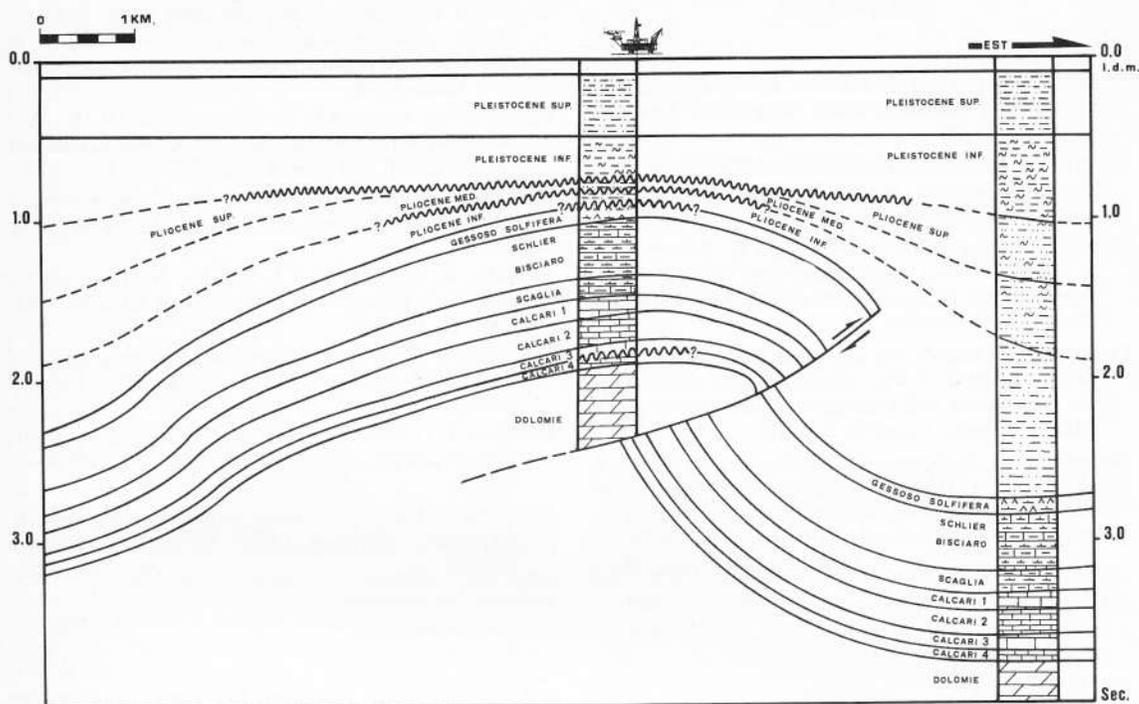


Fig. 12 - Sezione sismo-geologica.

sono tutt'ora difficili da identificare con precisione punto per punto; è quindi evidente che laddove esisteranno grosse variazioni laterali di velocità, si avranno differenze fra sezioni sismiche (in scala tempi) e sezioni geologiche (in profondità).

Il tema della esatta conversione tempi-profondità è quindi di estrema attualità nella ricerca di idrocarburi (BILGERI & CARLINI, 1984) e l'interpretazione geologica di una sezione sismica deve essere sempre affrontata con estrema attenzione, tenendo conto di tutti i dati disponibili e unendo alla oggettiva risultanza del

dato sismico la sensibilità e l'esperienza del geologo.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano la Direzione dei Servizi per l'Esplorazione Idrocarburi della Soc. AGIP S.p.A. per i dati e per la collaborazione fornita che ha consentito la realizzazione del presente lavoro.

*Manoscritto consegnato il 4 marzo 1985  
Ultime bozze restituite il 4 aprile 1986*

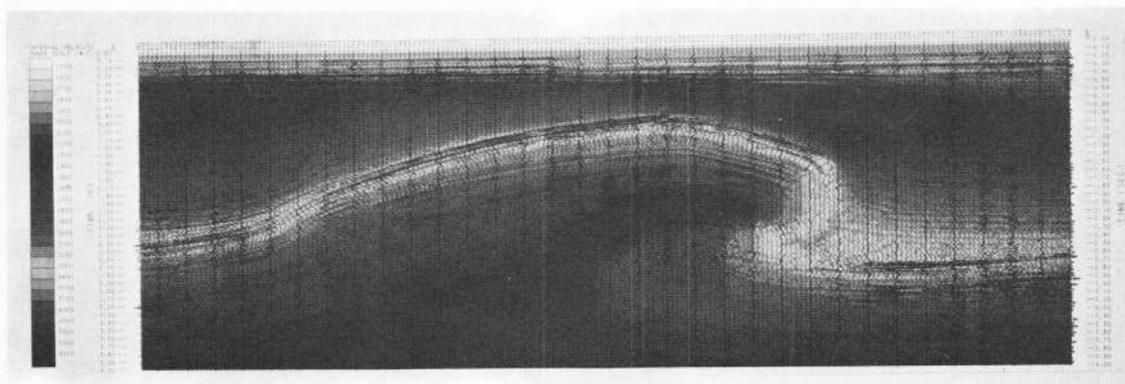


Fig. 13 - Sezione pseudo-velocità di intervallo.

## BIBLIOGRAFIA

- BILGERI D. & CARLINI A. (1984) - *Limits of structural inversion of seismic horizons*. Geophysical Prospecting, **32**, 581-607.
- BOLONDI G., ROCCA F. & SAVELLI S. (1978) - *A frequency domain approach to two dimensional migration*. Geophysical Prospecting, **26**, 750-772.
- CARLONI G.C., COLANTONI P., CREMONINI G., D'ONOFRIO S. & SELLI R. (1971) - *Nota illustrativa della carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Fogli 109, 110, 117 Pesaro-Senigallia-Jesi*.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLA A. & PIERUCCINI U. (1971) - *Contributo alla conoscenza del Giurassico dell'Appennino umbro-marchigiano*. Studi Geologici Camerti, **I**, 1971.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., CIPRIANI N., DEIANA G. & MICARELLI A. (1978) - *Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei «bacini minori» torbiditici del Miocene med. sup. dell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese*. Mem. Soc. Geol. It., **18**.
- CRESCENTI V., CROSTELLA A., DONIZELLI G. & RAFFI G. (1969) - *Stratigrafia della serie calcarea dal Lias al Miocene nella regione marchigiano-abruzzese*. Mem. Soc. Geol. It., **8**.
- CRESCENTI V., COPPOLA L. & TOMASSONI D. (1974) - *Sul Mio-Pliocene di Ancona. Note di stratigrafia*. Boll. del Serv. Geol. d'It., 1105, I fasc., 1974.
- DI SCALA L. & INNOCENTI R. (1979) - *Studio geominerario dell'area marchigiana*. Agip Min. Cologno Monzese 1979.
- FANCELLI R. & RADRIZZANI S. (1964) - *Nota illustrativa della carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 118 Ancona*.
- LAVERGNE M. & WILLM C. - *Inversion of seismograms and pseudo-velocity logs* - EAEG '75 Meeting, Bergen, Norway.
- LIPPARINI T. (1969) - *Nota illustrativa della carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Fogli 100, 101 Forlì-Rimini*.
- SALVADOR L. (1982) - *Experience with computer programs for seismic migration*. CSEG '82 Meeting, Calgary, Alberta.